Aus der chirurgischen Abteilung des Zahnärztlichen Instituts
(Privatdozent Dr. Meyer — Direktor: Prof. Dr. Euler)

Ueber die Härte der Röntgenstrahlen bei Zahn- und Kieferaufnahmen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung
der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde

bei der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau

vorgelegt von

Hans Ricken
Zahnarzt

Breslau 1929
Druck Anton Schreiber, Breslau

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Breslau.

I. Berichterstatter: Privatdozent Dr. Meyer

II. " Professor Dr. Euler

.....

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinem Vater gewidmet

Für eine möglichst gute Auswertung eines Röntgenbildes ist die Wahl der Strahlenqualität von Bedeutung. Da die Dichtigkeitsunterschiede im menschlichen Organismus mit Ausnahme des Knochens geringe sind, so ist die Anwendung von Strahlen mit großen Absorptionsdifferenzen eine Notwendigkeit. Ist diese Absorptionsdifferenz bei einer Aufnahme, die zwei Gewebe von verschiedener Dichte wiedergibt, groß, so resultiert ein kontrastreiches Bild. Solche Bilder liefern die langwelligen, die sogenannten weichen Röntgenstrahlen.

Nach Eggert besteht das Strahlengemisch „bei 40 bis 45 Kilovolt Spannung vorwiegend aus der weichen, bei 45 bis 55 Kilovolt aus der mittelharten, bei über 55 Kilovolt aus der harten Komponente". Weiche Strahlung erzielt man mit einer Wellenlänge von ungefähr 0,5 Angström-Einheiten, eine mittelharte Strahlung mit einer solchen von ungefähr 0,4 Angström, Hartstrahlung dagegen mit kurzwelligen Strahlen von ungefähr 0,3 Angström. Von der Wellenlänge ist die Schwächung der Röntgenstrahlen beim Durchgang durch ein Objekt abhängig. Bei weicher Strahlung besteht sie hauptsächlich aus Absorption, bei Hartstrahlung aus Streuung. Aufnahmen mit weichen Strahlen ergeben kontrastreiche Bilder, die wenig Streustrahlung enthalten, aber wegen der geringen Penetrationskraft der weichen Strahlen lange exponiert werden müssen. Bei zunehmender Härte der Strahlung dagegen erhalten wir kontrastarme, durch Streustrahlung verschleierte Bilder, die nur eine kurzfristige Belichtung erfordern. Zur Beseitigung der Streustrahlung stehen uns zwei wirksame Schutzmittel zur Verfügung, die Kompressionsblende und die Buckyblende. Durch Einschaltung einer Kompressionsblende „wird die Menge der sekundärstrahlenerregenden Gewebssubstanz auf ein Minimum herabgesetzt". Die Kompressionsblende ist jedoch für den Patienten unangenehm, und ihre Anwendung kommt daher nur im beschränkten Maße in Frage. Die Buckyblende, die zwischen dem aufzunehmenden Objekt und der photographischen Platte angebracht wird, läßt nur den

nutzbaren Anteil der Strahlung auf die photographische Platte wirken und ermöglicht uns auf diese Weise streustrahlenfreie Aufnahmen. Den Nachteil der Hartstrahlen, einen geringen Strahlenkontrast abzugeben, können wir wettmachen, indem wir mit Aufnahmematerial photographieren, welches diese geringen Kontraste vergrößert. (Doppelfilm mit Folien.) Dazu kommt die große Abkürzung der Expositionszeit bei Verwendung von Doppelfilmen in Verbindung mit Hartstrahlen, da beim doppelseitig begossenen Film trotz Unterbelichtung der einzelnen Schicht die übereinanderliegenden geschwärzten Stellen sich verdoppeln und so ein kontrastreiches Bild ergeben. Verwendet man außer dem doppelt begossenen Film noch Verstärkungsschirme, welche die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die photographische Platte verstärken, so kann man eine noch kurzfristigere Exposition wählen. Diese Abkürzung der Belichtungszeit bei Hartstrahlenaufnahmen ist erwünscht bei beweglichen oder unruhigen Objekten. Ein weiterer Vorteil der Hartstrahltechnik ist der Verzicht auf Aufnahmen mit verschiedenen Spannungen; man macht alle Aufnahmen mit derselben Spannung und derselben Milliampère-Zahl und ändert nur die Belichtungszeit. Um unter bestimmten Bedingungen die Bildwirkungen der Röntgenstrahlen kennen zu lernen, sind schon des öfteren Experimente mit verschiedenen Härtegraden angestellt worden. Diese Versuche erstrecken sich ganz allgemein auf das medizinische Gebiet; darüber soll zunächst hier berichtet werden:

Nach Fürstenau (1921) werden Strahlen von 1—4 Wehneltheinheiten (bis ungefähr 30 Kilovolt) in der Praxis kaum, solche von 4—7 Wehneltheinheiten (ungefähr 30—60 Kilovolt) zu therapeutischen Hautbestrahlungen, von 6 bis fast 10 Wehneltheinheiten (ungefähr 43—120 Kilovolt) zur Röntgenographie und Durchleuchtung, über 10 Wehneltheinheiten (ungefähr 120 Kilovolt) nur zur Tiefentherapie benutzt. Aus diesen Angaben ersieht man, daß damals in der Praxis als geringste Spannung für die diagnostische Auswertung von Röntgenbildern eine Mindestspannung von 43 Kilovolt in Anwendung kam.

Weber hat seine Untersuchungen mit einem Siemens-Universalapparat mit Spannungen von 90 Kilovolt und 50 Milliampère Belastung bis zu höheren Spannungen (maximal 130 Kilovolt) ausgeführt. Aus dem Protokoll seiner Aufnahmen ersieht man, wie abwechslungsreich er sein Aufnahmematerial gewählt hat z. Teil unter Verwendung

von Buckyblende, Verstärkungsschirmen oder Filter. Aus seinen Untersuchungen ging hervor, daß alle Aufnahmen mit harten Strahlen außer einer 130 Kilovolt-Knieaufnahme und einer 90/130 Kilovolt Lungenaufnahme mit Buckyblende gut durchgezeichnete Bilder ergaben. Weber kommt am Ende seiner Arbeit zu folgendem Resultat:

„daß eine große Reihe von Objekten und Fällen, welche bisher grundsätzlich mit weichen Röhren dargestellt wurden, mit einem für die Mehrzahl der Fälle genügenden Kontrastreichtum mit viel härteren Röhren bis 100 Kilovolt erfolgreich photographiert werden können (bei Objekten über 15 cm Dicke Verwendung eine Buckyblende). Kontraindiziert ist bei dem heutigen Stand der Bekämpfung des Sekundärstrahleneinflusses meiner Meinung nach diese Aufnahmetechnik nur bei Untersuchung von dicken Objekten in den Fällen, wo die Diagnose ausschließlich auf Grund von feinsten Kontrastdifferenzen gestellt wird". Weber tritt als erster für den Gebrauch einer höheren Spannung in der Röntgendiagnostik ein. Die Anwendung der Buckyblende kommt für intraorale Aufnahmen wie für extraorale Kieferaufnahmen am hängenden Kopf wegen technischer Unmöglichkeiten nicht in Frage; nur bei Occipito-Frontalaufnahmen und Seitenaufnahmen ist ihre Anwendung möglich.

Andrassy (1925) empfiehlt die Anwendung der Hartstrahltechnik hauptsächlich für Aufnahmen, von denen man feinere Durchzeichnungen verlangen muß. Er weist auf die Wirkung der Sekundärstrahlen hin, die schon bei mittlerer Objektdicke in Erscheinung treten. Seine vergleichenden Untersuchungen mit der Buckyblende führten zu dem Ergebnis, als Höchstspannung 70—75 Kilovolt anzunehmen und bei Objektdicken von 10—12 cm an die Buckyblende zu verwenden. Der Gebrauch der Buckyblende bei dicken Objekten erlaubt uns die Anwendung einer viel höheren Spannung und zugleich eine bedeutend kürzere Belichtung. Andrassy bezeichnet „die Hartstrahlaufnahmetechnik insbesondere bei Verwendung der Buckyblende als eine wesentliche Bereicherung der Röntgendiagnostik". Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Ansichten Webers und Andrassy's besteht nicht, nur daß Andrassy für den Gebrauch der Buckyblende schon bei einer Objektstärke von 10—12 cm eintritt.

Um die nachteilige Wirkung der Streustrahlung, die je nach der Härte der Strahlung in einer mehr oder minder

großen Verschleierung des Bildes besteht, zu verringern, empfiehlt Zacher (1925) eine größere Entfernung des aufzunehmenden Objektes von dem Fokus der Röntgenröhre. Gut durchgezeichnete Bilder hat er bei Fokusplattenabstand von 2 m mit 25 Milliampère Röhrenstrom und einer Strahlenhärte von 85 Kilovolt 0.1 Sekunden exponiert erhalten. Dieselbe Aufnahme bei einer Entfernung von nur 60 cm ergab ein verschleiertes Bild. In seinen Ausführungen betont Zacher die Benutzung eines stark konzentrierten Entwicklers für Hartstrahlaufnahmen. Der Vorschlag Zachers, durch einen vergrößerten Fokusplattenabstand eine Verringerung der Streustrahlung und der damit verbundenen Gefahr des Verschleierns zu erreichen, kommt für uns praktisch in so großem Maßstabe wie erwähnt nicht in Betracht, da in der zahnärztlichen Röntgendiagnostik die Objekte für eine solche Entfernung viel zu klein sind. Die Fokus-Objektentfernung bleibt bei intraoralen Aufnahmen im allgemeinen auf ungefähr 25 cm beschränkt.

In einem 1929 erschienenen Buch von Glasscheib „die Röntgendiagnostik" wird darauf hingewiesen, daß man bei 65 Kilovolt Spannung eben noch ein gut durchgezeichnetes Bild erhält. Diese Strahlung bezeichnet Glasscheib mit Rücksicht auf die Streuung als die „härteste für die Diagnostik noch verwendbare". Nach Glasscheib soll diese Hartstrahlung (65 Kilovolt) nur für Röntgenaufnahmen von Hohlorganen, die mit Kontrastmitteln gefüllt sind, verwandt werden. Glasscheib sagt, daß sich im Gebiet um 0.4 Angström, gleichbedeutend einer mittelharten Strahlung von 45—55 Kilovolt, ungefähr die Streuung und die Absorption an Größe gleichen, und daß hier „das Maximum des Strahlenspektrums liegen müsse, wenn Strahlen noch ein brauchbares Bild liefern sollen."

Die Untersuchungen von Willem Bronkhorst über den Einfluß der Härte auf die Schattenunterschiede des Röntgenbildes sind in Abhängigkeit von der Dicke des filternden und streuenden Gewebes, in Abhängigkeit von der Benutzung von Folien und in Abhängigkeit von der Verwendung von Streustrahlenfiltern angestellt worden. Bronkhorst hat seine vergleichenden Aufnahmen von einem Alluminiumstück gemacht, welches zwischen zwei Behältern mit einem Wasserinhalt von abwechselnder Höhe (2×2 cm, 2×4 cm, 2×6 cm) angebracht war. Hierbei ist zu bemerken, daß die Absorption und Streuung der Röntgenstrahlen in einem bestimmten Volumen Wasser ungefähr die gleiche ist, wie in demselben

Volumen Körpergewebe. Von allen diesen Versuchen kommen diejenigen, welche mit 2×2 cm Wasserschichtenhöhe angestellt wurden, den Verhältnissen bei intraoralen Aufnahmen in der zahnärztlichen Röntgendiagnostik am nächsten. Deshalb wollen wir gerade diesen Versuchen unsere Aufmerksamkeit zuwenden.

Bei Verwendung von zwei Verstärkungsschirmen ohne Streustrahlenfilter hat Bronkhorst mit einer harten Strahlung von 88 Kilovolt maximaler Spannung bei 2×2 cm Wasserhöhe (Streustrahlenschicht), was also einem Körperteil von geringer Dicke entspricht, wenig zufriedenstellende Aufnahmen erzielt. Es liegt dies an der nachteiligen Einwirkung der Streustrahlen, die bei hoher Spannung in dem Objekt und der auflagernden Schicht hervorgerufen werden. Mithin scheidet die Anwendung einer solch hohen Spannung in der zahnärztlichen Röntgendiagnostik ohne Streustrahlenfilter aus. Mit fallender Spannung wird bei der Versuchsreihe 2×2 cm Wasserschichtenhöhe eine bessere Kontrastierung im Röntgenbild erreicht, was natürlich auf den geringeren Anteil an Hartstrahlung gegenüber den sehr harten Aufnahmen mit 88 Kilovolt zurückzuführen ist. Um die Unterschiede in den Kontrasten bei den Bildern verschiedener Spannungsreihen zu veranschaulichen, hat Bronkhorst die Kontrastbreite der einzelnen Aufnahmen in Zahlen ausgedrückt. „Die Kontrastbreite, die wir zu einer guten Differenzierung benötigen", beträgt nach Bronkhorst höchstens 1,2. Bronkhorst fand bei einer Spannung von 66 und 77 Kilovolt und einer Grundschwärzung von 1,2 eine Kontrastbreite von 1,0—0,9, während er bei der sehr harten Aufnahme mit 88 Kilovolt „eine Kontrastbreite von weniger als 0,9" erhielt. Die beste Kontrastbreite, die Bronkhorst bei seinen Versuchsaufnahmen mit 55, 66, 77 und 88 Kilovolt erhielt, ergab sich bei einer mit 55 Kilovolt geröntgten Aufnahme mit einem gefundenen Wert von 1,1. Den Höchstwert von 1,2 hat er also in dieser Versuchsreihe nicht erreicht; es ist jedoch mit Recht anzunehmen, daß bei Verwendung von weicherer Strahlung die gewünschte Kontrastbreite von 1,2 erhalten worden wäre. Die Versuchsaufnahmen mit einer Wasserschichtenhöhe von 2×4 cm zeigen eine noch größere Einwirkung der Streustrahlung, die bei weiterer Erhöhung der Schicht auf 2×6 cm eine nicht unbedeutende Steigerung erfährt. Bronkhorst hat die gleichen Aufnahmen unter Verwendung einer für seine Versuche geeigneten selbstkonstruierten Blende gemacht und dadurch die Streustrahlen

auf ein Minimum herabgesetzt. Es zeigte sich, daß „die Kontrastverbesserung der streustrahlenfreien Aufnahme für das unter gleichen Bedingungen gemachte gewöhnliche Bild groß ist. Bei weicher Strahlung tritt dies allerdings nicht so sichtbar in Erscheinung wie bei härterer". Bronkhorst empfiehlt die Aufnahmetechnik mit weicher Strahlung und Streustrahlenfilter für Röntgenaufnahmen von geringer Objektstärke (das wäre z. B. auf unser Gebiet übertragen der Kieferknochen), wo es besonders auf feinste Zeichnungen ankommt. Mit steigender Härte der Strahlung und vergrößerter Streustrahlenschicht tritt der Unterschied durch das Streustrahlenfilter noch besser hervor als bei der weichen Strahlung. Die vergleichenden Versuchsaufnahmen Bronkhorst's mit Verstärkungsschirmen zeitigten folgendes Ergebnis. Ihre Anwendung ist bei Aufnahmen mit weicher Strahlung besonders dann ratsam, wenn die dem Objekt auflagernde Streuungsschicht (Wasserschichtenhöhe) einen größeren Durchmesser hat und deshalb einen erheblichen Teil der Strahlung absorbiert. Da ein exaktes Anliegen der Verstärkungsfolie bei intraoralen Röntgenaufnahmen wegen der kleinen Filme und der ungünstigen Verhältnisse im Munde nicht gewährleistet ist, und eine dazu notwendige Kassette im Munde nicht angebracht werden kann, kommt ihre Anwendung für die zahnärztliche Röntgendiagnostik nicht in Frage. Es sei noch erwähnt, daß für streustrahlenfreie Aufnahmen der Gebrauch von Verstärkungsschirmen wegen zu hoher Belastung der Röntgenröhre erforderlich ist.

Nach Bronkhorst gibt es „bei der Röntgenographie von Körperteilen mit einer geringen Dicke ein bestimmtes Optimum der Strahlenhärte, bei dem die meist harmonische und zugleich die deutlichste Differenzierung der Kontraste erhalten wird." Ziehen wir das facit aus den vergleichenden Untersuchungen Bronkhorst's, so muß berücksichtigt werden, daß bei intraoralen Röntgenaufnahmen in der Zahnheilkunde eine noch dünnere Streustrahlenschicht in Frage kommt als Bronkhorst sie verwendet (2×2 cm Wasserschichtenhöhe). Diese geringe Dicke der Streustrahlenschicht gestattet uns in der zahnärztlichen Röntgendiagnostik den Verzicht auf das Streustrahlenfilter. Einen Anhaltspunkt für den Gebrauch einer bestimmten Spannung für die Röntgenographie von Kiefer und Zähnen finden wir insofern nicht, als Bronkhorst in seinen Versuchen niemals die gleichen Bedingungen wie für die Röntgenaufnahmen von Zähnen und Kieferknochen gewählt hat.

Über die Anwendung einer bestimmten Spannung zur Röntgendiagnostik in der Zahnheilkunde äußern sich Immelmann und Schütze in einem im Jahre 1921 erschienenen „Leitfaden des Röntgenverfahrens“ wie folgt: „Bei intraoralen Zahnaufnahmen müssen weiche Röhren von 4—5 Walter“ — nach Umrechnung 39—43 Kilovolt — „verwendet werden, die Belichtungszeit bei extraoralen ist ca. 2—2⅓ Minuten (ohne Verstärkungsschirme) bei intraoralen und ca. 30 cm Fokusplattendistanz ca. 30 Sekunden bei ca. 4 Milliampère Belastung.“

Balters schreibt 1925 in seinem „Leitfaden der zahnärztlichen Röntgenkunde“ eine Spannung von etwa 50 Kilovolt für die Röntgenographie von Kiefer und Zähnen vor.

Als Optimum der Strahlenhärte für zahnärztliche Diagnostikapparate empfiehlt Praeger 1927 eine Sekundärspannung von 40—50 Kilovolt. In einem im Jahre 1928 gehaltenen Vortrage über „die Bedeutung der Aufnahme- und Entwicklungstechnik für das zahnärztliche Röntgenbild“ sagt Praeger, daß sich die Härte der Röntgenstrahlen bei den zahnärztlichen Apparaten so schwer variieren lasse; die genaue Messung der Röhrenspannung, die für die Härte der Cooligderöhren ausschlaggebend sei, lasse sich bei diesen Apparaten überhaupt nicht und vergleichende Aufnahmen von einigem Wert kaum durchführen. Wenn Praeger Vergleichsaufnahmen im allgemeinen für kaum durchführbar hält, so liegt seiner Anschauung wohl der Gedanke an die Röntgenapparate zugrunde, die mit einer konstanten Spannung von 40—50 Kilovolt arbeiten und daher keine beliebige Variation der Härte zulassen.

Eggert gibt 1928 in seiner Expositionstabelle für Agfa-Röntgenfilme zur Aufnahme von Zähnen eine Härte von 41—42 Kilovolt, bei 20 Milliampère Belastung an.

Hauberrisser empfiehlt 1929 für die Röntgenographie von Zähnen auf doppelt begossenen Filmen eine Spannung von 35—40 Kilovolt und 10 Milliampère Röhrenstrom bei 1—2 Sekunden Expositionszeit, während er für Kieferaufnahmen bei derselben Spannung und dem gleichen Röhrenstrom eine Exposition von 6 bis 8 Sekunden vorschlägt.

Meyer dagegen empfiehlt die Anwendung einer noch niedrigeren Spannung als Hauberrisser für intraorale Aufnahmen (für intraorale ca. 30 Kilovolt, für extraorale eine solche von 40—50 Kilovolt). Über Röntgenaufnahmen,

die mit harter Strahlung von 40—50 Kilovolt gemacht werden, sagt Meyer 1929 im Port-Euler: „Arbeitet man z. B. bei gewöhnlichen intraoralen Aufnahmen mit so harter Strahlung, wie sie von 40—50 Kilovolt erzeugt wird, dann durchdringen diese kurzwelligen Strahlen die Zähne und den Knochen zu stark, es entstehen nicht mehr Schatten von genügender Tiefe, die Aufnahme erscheint nicht kontrastreich schwarz-weiß, sondern im allgemeinen grau." Alle Autoren mit Ausnahme von Meyer treten für die Anwendung einer Spannung von ungefähr 40—50 Kilovolt für intraorale Aufnahmen in der zahnärztlichen Röntgendiagnostik ein. Als erster macht er auf die Trübung und Verschleierung des Röntgenbildes aufmerksam, die durch die zu harte Strahlung hervorgerufen wird.

Da das Verwendungsgebiet der Röntgenstrahlen zur Diagnose in der Zahnheilkunde in stetem Anwachsen begriffen ist, ist für die Praxis eine große Anzahl von Röntgenapparaten konstruiert worden; für fast alle diese Apparate wird zur Erreichung optimaler Kontraste eine Spannung von durchschnittlich 40—50 Kilovolt bei 10 Milliampère Röhrenbelastung angegeben; die Expositionszeit schwankt zwischen 1—2 Sekunden. Es soll nun im folgenden geprüft werden, ob diese Härte die optimale ist, und es sollen durch eine Reihe von Aufnahmen die optimalen Kontraste eines Röntgenbildes für unser Fachgebiet festgestellt werden.

Die Aufnahmen sind auf doppelseitig begossenen Agfa-Röntgenfilmen gemacht worden, die nur die halbe Belichtungszeit der Röntgenplatte und des einseitig begossenen Filmes erfordern. Daß gerade Agfa-Filme bei meinen Versuchsaufnahmen Verwendung finden, liegt darin begründet, daß nach Bronkhorst Aufnahmen, welche unter ganz gleichen Bedingungen gemacht wurden, bei Verwendung von Agfa-Filmen bessere Kontraste haben als die auf anderen Filmen angefertigten. Benutzt wurde die Agfa-Röntgenpackung mit einem Inhalt von 1 Dutzend Filmen in der Größe 13/18 cm. Um eine Verbilligung zu erzielen, habe ich die Filme selbst geschnitten und zwar im Größenverhältnis 3/4 cm, so daß ein 13/18 cm großer Agfafilm außer einem kleinen Abfall 12 3/4 große Filme ergab. Die Anfertigung von 204 Aufnahmen erforderte demgemäß 17 13/18 große Agfa-Filme. Als Entwickler wurde das langsam und weich arbeitende Metol-Hydro-

chinon (Agfa) verwandt, weil dieser Entwickler bei gleicher Entwicklungsdauer und gleicher Temperatur größere Kontraste hervorruft als ein schwächerer wie zum Beispiel Glycinentwickler. Bei einer so großen Menge von Filmen (ca. 200) ist es wichtig, daß alle Bilder gleichmäßig in der bestimmten Zeit entwickelt werden. Deshalb habe ich für meine Aufnahmen den Entwickler viermal angesetzt, indem ich jedesmal einen halben Liter konzentrierten Entwicklers auf 2 Liter destillierten Wassers auffüllte, so daß also bei ungefähr 200 Aufnahmen 50 Filme auf den jeweils angesetzten Entwickler fielen. 50 Filme entsprechen, wenn man den kleinen Abfall beim Filmschneiden mit einrechnet, vier 13/18 großen Filmen, mit anderen Worten, einem Flächeninhalt von ungefähr 936 cm^2. Es wurden also anders ausgedrückt vier Filme 13/18 in 2½ Liter angesetzten Entwicklers entwickelt. Damit soll gesagt werden, daß jeder dieser 50 Filme im Entwicklungsprozeß gleichmäßig in der bestimmten Zeit entwickelt worden ist. Die Temperatur der Entwicklerlösung betrug immer genau 18 Grad C, weil diese Temperierung als optimal feststeht; sie wurde ständig mit dem Thermometer kontrolliert; unter dieser Temperatur arbeiten nämlich die Entwickler zu langsam und oberhalb dieser Temperatur zu schnell. Die Entwicklungsdauer habe ich immer konstant gehalten; nach Eggert ist für Metol-Hydrochinon bei 18 Grad C eine Entwicklungszeit von 5 Minuten als optimal anzusehen; es ist also Unter- oder Überexposition in keiner Weise berücksichtigt worden. In photographischer Hinsicht habe ich also die Bedingungen für meine vergleichenden Aufnahmen so gewählt, daß zum Studium der Kontrasteigenschaften die besten Verhältnisse, wie langsam und weich arbeitender Entwickler, doppelt begossene Filme sowie die optimalen Verhältnisse von Temperatur und Entwicklungszeit genommen wurden. Auf diese Weise entwickelte Aufnahmen zeigen mithin optimale Schattenunterschiede. Zum Fixieren wurde Agfa-Schnellfixiersalz, in fünffacher Wassermenge aufgelöst, verwandt. Nach 15 Minuten langem Fixierbad wurden die Filme im fließenden Wasser genügend gewässert und darauf zum Trocknen aufgehängt. Die Aufnahmen sind mit einem Siemens-Explorator (Cooligde Röhre) hergestellt worden, der Aufnahmen von 18 Kilovolt bis aufwärts 55 Kilovolt gestattet. Als Objekt für die Versuchsaufnahmen diente ein fixierter linker Unterkiefer; die starke Abkauung der Zähne sowie die kräftige Entwicklung des Kieferknochens lassen auf einen Mann im

mittleren Lebensalter schließen. Geröntgt wurde von diesem Kiefer ausschließlich die Gegend vom ersten Prämolaren bis zum zweiten und dritten Molaren, weil hier nach den anfangs hergestellten Übersichtsaufnahmen die Feinheit der Knochenzeichnung am besten zu Vergleichsaufnahmen geeignet schien. Bei allen diesen Aufnahmen ist der senkrecht zu Objekt und Film eingestellte Tubus stets in loser Berührung mit dem Kieferknochen gewesen, und somit die Fokusplattendistanz immer die gleiche geblieben. Der Abstand Fokus-Objekt betrug genau 25 cm; rechnet man noch die Dicke des Objektes und der auflagernden Schicht (Streustrahlenschicht) dazu, so erhält man für den Fokusplattenabstand bei meinen Aufnahmen ungefähr einen Wert von 28—29 cm. Zwei Reihen von Aufnahmen sollen uns im folgenden beschäftigen; sie sind bei konstantem Röhrenstrom (10 Milliampère) und verschiedener Spannung und Belichtungszeit angefertigt worden. Die eine Versuchsreihe enthält Aufnahmen nur des Kiefers und seiner Schleimhaut und zeigt Bilder, wie sie ohne die absorbierende und streustrahlenaussendende Backe ausfallen. Die andere Reihe dagegen bringt die gleichen Aufnahmen des Kiefers nur mit dem Unterschied, daß hier den natürlichen Verhältnissen durch Auflagerung einer Rindfleischschicht in der Dicke einer Backe auf den Unterkiefer Rechnung getragen worden ist. Daß bei meinen Aufnahmen gerade Rindfleisch als Ersatz für die fehlende Backe gewählt wurde, ist bedeutungslos, da die Absorption und Streuung der Röntgenstrahlen in einem bestimmten Volumen Muskelgewebe gleich welcher Art immer dieselbe bleibt. Mithin ist es gleichgültig, ob man das Körpergewebe durch Kalbfleisch, Rindfleisch oder anderes Fleisch ersetzt, die Hauptsache ist, daß es sich dabei um Muskulatur handelt. Um die Dicke der Backe für unsere Aufnahmen festzustellen, habe ich bei 6 Personen in verschiedenem Lebensalter an der Umschlagsfalte in der Gegend des ersten Molaren mit einem Tasterzirkel Messungen vorgenommen und folgende Werte erhalten:

16	Jahre	0.8 cm
26	„	1.3 cm
32	„	1.1 cm
43	„	0.9 cm
50	„	1.2 cm
78	„	1.0 cm

Die Durchschnittsdicke der Backe kann man also mit einem reichlichen Zentimeter annehmen. Die Rindfleischschicht ist in der angegebenen Stärke für die Versuchsaufnahmen verwendet worden. Beide Reihen enthalten Aufnahmen, die mit variierender Spannung von 18, 28, 38, 48, 52 und 55 Kilovolt bei konstantem Röhrenstrom von 10 Milliampère in verschiedenen Expositionszeiten erzielt worden sind. 18 Kilovolt entspricht der in dem Strahlengemisch enthaltenen kürzesten Wellenlänge von 0,687 Angströmeinheiten, 28 Kilovolt einer solchen von 0,441 Angström, 38 Kilovolt einer solchen von 0,325 Angström, 48 Kilovolt einer solchen von 0,251 Angström, 52 Kilovolt einer solchen von 0,23 Angström, und endlich 55 Kilovolt einer solchen von 0,225 Angström. Die Aufnahmen sind ohne Streustrahlenfilter und ohne Verstärkungsschirme angefertigt worden.

Die erste Reihe, ohne Backe geröntgt, zeigt bei 18 Kilovolt Spannung und einer Expositionszeit von 5 Minuten das beste Bild dieser Serie, das alle Feinheiten der Knochenstruktur in deutlichsten Kontrasten erkennen läßt. Besonders die Gegend unterhalb des ersten Molaren ist reich an Zeichnungen von ganz feinen, haardünnen Spongiosabälkchen, deren zarteste Abzweigungen bis zu den stärkeren Knochenbälkchen gut im Röntgenbild zu verfolgen sind. Die Kontraste schwarz-weiß sind auf das Schönste wiedergegeben. Das foramen mentale ist deutlich als ovale Verdunklung hier im Negativ wahrzunehmen und hebt sich scharf umgrenzt von seiner Umgebung ab. Ich habe die Aufnahmen dieser Serie mit einer Belichtungszeit von 5 Sekunden angefangen. Diese kurz exponierten Negative zeigen überhaupt nur Schatten und keine Knochenzeichnung, und erst bei 15 Sekunden Exposition kommt Licht in das schattenreiche Bild, und die dünnen Interdentalsepten werden sichtbar. Abstufungen in der Deutlichkeit der Bilder von Sekunde zu Sekunde sind nicht festzustellen. Bei einer Exposition von 27 Sekunden treten zum ersten Male ganz schwache Lichter im Knochen hervor, die erst bei einer Belichtungszeit von 70 Sekunden klar als Markräume erkannt werden. Die Aufnahmen von 110 Sekunden an zeigen bereits in der Mitte des Bildes unterhalb des Sechsjahrmolaren eine gute Durchzeichnung, während in der Gegend zwischen dem zweiten und dritten Molaren die Kontraste noch nicht deutlich genug hervortreten. Es liegt dies daran, daß hier der Kieferknochen erheblich dicker ist und mehr

Röntgenlicht absorbiert als der schwächere Knochen um den ersten Molaren und um die beiden Prämolaren. Infolgedessen gelangt im Gebiet des dickeren Knochens durch die starke Absorption ein geringerer Anteil an Strahlungsenergie auf die photographische Platte als in den dünneren Objektteilen, und daher erscheinen die Negative an solchen Stellen noch kontrastarm. Erst bei Belichtungen von 180 Sekunden an und höher dringt auch hier Röntgenlicht durch die dickeren Knochenmassen, und die Spongiosazeichnung wird schwach sichtbar. Ganz befriedigend ist aber auch der Kontrast selbst bei einer Exposition von 240 und 300 Sekunden noch nicht. Der allgemeine Kontrastunterschied zwischen diesen beiden Negativen ist im Verhältnis zur Verlängerung der Belichtung (1 Minute) nicht sehr stark ins Auge fallend; nur an einer Stelle in der Gegend des zweiten Molaren erfährt die Knochenstrukturzeichnung eine geringe Verbesserung in der Kontrastierung. Vergleichen wir nun das beste Bild dieser Reihe (5 Minuten Expositionszeit) mit dem gleichbelichteten der anderen Reihe (mit Rindfleischschicht), so weist dieses eine bei weitem schwächere Knochenzeichnung auf als das der ersten Serie. Es liegt dies an der starken Absorption der weichen Strahlung durch die auflagernden Weichteile, die einen großen Teil der Strahlung absorbieren; infolgedessen geht ein Teil der Strahlen für die photographische Ausnutzung noch weiter verloren, und so erscheint das gleichbelichtete Negativ im allgemeinen kontrastarm. Die Knochenzeichnung in der Gegend des ersten Molaren ist zwar in ihren Grundzügen gut erkennbar, aber in Kontrastabstufung und Deutlichkeit dem ohne Rindfleischschicht geröntgten gleichbelichteten Negativ nicht gleichzustellen. Selbst die gröberen Knochenbälkchen erscheinen im Röntgenbild recht blaß; nur das foramen mentale ist scharf kontrastiert gegen seine Umgebung. Vergleicht man dieses 5 Minuten exponierte Bild (mit Rindfleischschicht) mit einem in der Knochenzeichnung gleichwertigen Negativ der anderen Reihe (ohne Schicht), so findet man ungefähr gleichartige Bilder bei einer Belichtungszeit von 135 Sekunden, also Bildern, bei denen die Kontrastunterschiede in der Gegend zwischen dem zweiten und dritten Molaren noch zu wünschen übrig lassen. Bei 6 Minuten Expositionszeit habe ich das beste Bild der zweiten Reihe (mit Wangenschicht) erhalten; es ist in allen Teilen gut durchgezeichnet bis auf die Stellen um den zweiten und dritten Molaren, wo die Licht- und Schattenunterschiede immer noch sehr schwach in Erscheinung treten.

Bei oberflächlicher Betrachtung der optimalen Negative beider Reihen ist schon ein deutlicher Unterschied festzustellen. Das Bild der ersten Serie ist kontrastreich schwarz und weiß, während bei dem anderen Negativ die Zeichnug der Bälkchen und der Markräume infolge der starken Absorption durch die Weichteile und vielleicht noch zu kurzer Belichtung (6 Minuten!) gleichmäßig blaß erscheint. Eine Steigerung in der Belichtungsdauer ist wegen der damit verbundenen Überlastung der Röntgenröhre nicht vorgenommen worden, vor allem aber unterlassen, da es sich gezeigt hat, daß so hohe Belichtungszeiten notwendig sind, wie sie am Lebenden praktisch niemals in Frage kommen können.

Die Bilder der nächsten Reihe sind mit einer Spannung von 28 Kilovolt geröntgt worden. Die Zunahme der Spannung um 10 Kilovolt zwischen den Aufnahmen der letzten Serie und dieser Serie läßt zur Erreichung einer Bildqualität mit noch eben erkennbarer Knochenzeichnung, wie sie bei 18 Kilovolt Spannung in 27 Sekunden Expositionszeit erhalten wurde, eine wesentliche Herabsetzung der Belichtungsdauer zu. Die mit 28 Kilovolt geröntgten Negative zeigen schon bei einer Expositionszeit von $^1/_2$ Sekunde eine wenn auch nur ganz schwache Knochenzeichnung. Dieselbe Aufnahme mit einer Sekunde belichtet, zeigt schon ein etwas besseres Hervortreten der Knochenstruktur, ist aber noch stark unterbelichtet. Bei dieser Reihe macht sich also der Belichtungsunterschied von $^1/_2$ Sekunde schon in einem etwas besseren Kontrast bemerkbar. Die Negative, die mit $1^1/_2$ und 2 Sekunden belichtet wurden, zeigen gleiche Abstufungen in ihrer Deutlichkeit, erscheinen jedoch im allgemeinen noch sehr blaß und lassen nicht deutlich genug die Kontraste schwarz und weiß erkennen. Erst bei einer Belichtungsdauer von $2^1/_2$ Sekunden heben sich deutlich gegen das Licht die Markräume scharf begrenzt ab, und die zarten Spongiosabälkchen werden klar in ihren Konturen sichtbar. Eine weitere Steigerung in den Kontrasten dieser Bildserie tritt bei einer Exposition von 5 Sekunden in Erscheinung. Hier ist zum ersten Male in dieser Reihe die Knochenzeichnung um den zweiten und dritten Molaren wahrzunehmen. Bei den Aufnahmen mit 18 Kilovolt Spannung war eine ganz schwach erkennbare Zeichnung in dieser Gegend erst bei einer Belichtung von 180 Sekunden zu erreichen.

Noch deutlicher tritt die Verkürzung der Belichtungsdauer bei den mit 28 Kilovolt geröntgten Bildern zu Tage,

wenn man Vergleiche anstellt zwischen den besten Bildern dieser Reihe und denen der 18 Kilovoltreihe. In 8 Sekunden Exposition habe ich das beste Bild dieser Serie erhalten, während das entsprechende mit 18 Kilovolt geröntgte Negativ erst bei 5 Minuten langer Belichtung erzielt wurde. Die 8-Sekunden-Aufnahme weist eine in allen Objektteilen hervorragende Durchzeichnung auf, nur die allerfeinsten Spongiosabälkchen, die als fast haardünn bei dem ausgezeichneten Bild der letzten Reihe (ohne Rindfleischschicht) noch gut zu sehen waren, sind hier allerdings bereits verschwunden. Betrachtet man das 8 Sekunden exponierte Negativ genau unter der Lupe im Vergleich zu einem Bild, das $^1/_2$ Sekunde länger belichtet worden ist, so erscheint uns die zarte Zeichnung der Spongiosabälkchen besonders in der Gegend unterhalb des Sechsjahrmolaren bei der 8-Sekunden-Aufnahme in scharf begrenzten Konturen, während das andere Bild hier schon ein Verwaschen der feinen Zeichnung aufweist. Dieses 8 Sekunden exponierte Bild ist in allen Teilen klar und deutlich gezeichnet und stellt das kontrastreichste Negativ dieser Reihe dar. Dieses Röntgenbild ergibt im Bezug auf die Verbesserung der Kontraste um den zweiten Molaren ein günstigeres Resultat als das Vergleichsbild der 18 Kilovoltreihe. Wenn auch die allerfeinsten Spongiosabälkchen, die bei dem optimalen Bild der letzten Serie noch gut zu sehen waren, hier nicht abgebildet sind, so kann man doch ohne Zweifel diese Aufnahme noch als eine sehr kontrastreiche ansprechen. Bei einer weiteren Steigerung der Expositionszeit verliert das Röntgenbild durch die allgemeine Schwärzung infolge Überbelichtung den Kontrast. Bei einer Belichtung von 15 Sekunden sind die feinen Spongiosabälkchen, wie sie bei einer 8 Sekunden exponierten Aufnahme so klar hervortreten, durch den hohen Grad der Schwärzung bereits verdeckt. Die Verschleierung der Knochenzeichnung steigert sich immer mehr mit Zunahme der Expositionsdauer. Bei einer Belichtung von 20 Sekunden ist der Schwärzungsgrad des Röntgenbildes schon so groß, daß unterhalb des Sechsjahrmolaren ein erheblicher Teil der Knochenzeichnung verloren geht.

Betrachten wir darauf zum Vergleich das 8 Sekunden belichtete Bild der Reihe mit Rindfleischschicht, so erscheint dieses in der Schärfe der Kontrastgegensätze der 8 Sekundenaufnahme (ohne Rindfleischschicht) noch nicht gleichwertig. Das eine halbe Sekunde länger exponierte Negativ zeigt dagegen eine in allen Teilen sehr zufriedenstellende Durchzeichnung und kommt einer 8-Sekunden-Aufnahme

(ohne Rindfleischschicht) an den Kontrasten gemessen am nächsten. Auch hier finden wir wie bei dem ohne Schicht geröntgten Negativ eine bessere Zeichnung um den zweiten Molaren als bei dem optimalen Bild der ersten Reihe. Die Verringerung der Kontraste durch die auflagernde Backe ist bei dieser Serie fast garnicht zu bemerken. Die Wiedergabe der Knochenstruktur des Kiefers ist eine ganz vortreffliche, und was besonders hervorzuheben ist, eine in allen Teilen gleichmäßig gute. Daß bei der 28 Kilovolt-Serie ein gleichwertiges Bild (dem ohne Schicht geröntgten Negativ) schon durch eine Steigerung der Expositionszeit um ½ Sekunde (8½) erreicht wird, liegt offenbar an dem Strahlungsgemisch, das jetzt im Gegensatz zur Spannung von 18 Kilovolt schon einen wenn auch sehr geringen Anteil an Hartstrahlung besitzt (entspricht der in diesem Gemisch enthaltenen kürzesten Wellenlänge von 0.441 Angström Einheiten). Eine längere Exposition kommt auch hier nicht in Frage, da bei Verlängerung der Belichtungsdauer der Schwärzungsgrad des Röntgenbildes in demselben Verhältnis zunimmt wie bei den Aufnahmen, die ohne Backe geröntgt wurden, und dadurch keine Verbesserung der Kontraste erzielt wird.

Erhöhen wir die Spannung auf 38 Kilovolt, so fällt schon bei oberflächlicher Betrachtung der Filme auf, daß diese Aufnahmen flacher graduiert erscheinen, als die mit geringerer Spannung hergestellten Bilder. Im Vergleich zu den 28 Kilovoltaufnahmen zeigen alle mit 38 Kilovolt hergestellten Negative einen grauen Unterton und eine verschwommene Zeichnung. Mit einer Exposition von ½ Sekunde habe ich das erste Bild dieser Reihe geröntgt. Die Knochenstruktur ist hier schon bedeutend besser erkennbar selbst in der zweiten Molarengegend als bei dem gleichbelichteten Negativ der letzten Serie. Die Zunahme der Kontraste ist bei einem Expositionsunterschied von ½ Sekunde viel augenscheinlicher als bei den mit gleicher Zeitdifferenz geröntgten Negativen der 28 Kilovolt-Serie. Es genügt schon eine Belichtung von 2 Sekunden, um optimale Licht- und Schattenverhältnisse für diese Aufnahmereihe zu erhalten.

Der Anteil an Hartstrahlung ist bei dieser Spannung natürlich ein bedeutend größerer als bei 28 Kilovolt Spannung, der einerseits in kurzfristiger Belichtung andererseits in der nachteiligen Wirkung der Streustrahlung zum Ausdruck kommt. Die damit verbundene Verschleierung des Nega-

tives wird noch erhöht durch den Umstand, daß die zarten Knochenbälkchen für die harten Strahlen kein Hindernis mehr darstellen; sie bilden sich infolgedessen auf dem Negativ nur undeutlich oder garnicht ab. Bei Verdoppelung der für diese Reihe optimalen Belichtungszeit (4 Sekunden) sind die feinen Knochenbälkchen infolge Überbelichtung bereits verdeckt und sind bei einer Exposition von 7 Sekunden vollkommen verschwunden. Steigert man die Belichtung auf 10 Sekunden, so ist die Schwärzung des Röntgenbildes schon so stark, daß man nur noch die gröbere Struktur in den dicken Teilen des Kieferknochens erkennt, während im schwächeren Knochen sogar sonst klar hervortretende Zeichnungen wie die Umrisse des ersten Prämolaren nur noch schwer festzustellen sind. Die Auswirkung der zunehmenden Hartstrahlung kann man sehr gut an dem Kontrastunterschied zwischen dem 2 Sekunden exponierten Negativ dieser Reihe und dem 8 Sekunden belichteten der mit 28 Kilovolt Spannung geröntgten Reihe studieren. Unter dem in der Mitte des Röntgenbildes (38 Kilovolt) befindlichen gut sichtbarem dreieckigen Schattenbild von Spongiosabälkchen vermißt man die im 28 Kilovoltfilm klar hervortretende Abbildung der feineren Knochenstruktur.

Die Röntgenbilder des Unterkiefers mit Rindfleischschicht zeigen bei 38 Kilovolt Spannung eine noch größere Einwirkung der Streustrahlung, die das Negativ mit einem gleichmäßigem grauen Schleier überzieht und gerade dadurch die feinsten Kontraste zudeckt.

Bei den mit Rindfleischschicht geröntgten Serien habe ich immer mit der Belichtung angefangen, die für die ohne Schicht hergestellten Bilder optimal war, da anzunehmen ist, daß nur mit Zunahme der Belichtungsdauer annähernd die Kontraste der ohne Backe geröntgten Negative erreicht werden können. Das 2 Sekunden belichtete Negativ erscheint seinem Vergleichsbild gegenüber trüb und verschleiert. Die Konturen einzelner Spongiosabälkchen heben sich nicht deutlich genug von ihrer Umgebung ab und sind teilweise verschwommen. Die Änderung in den Kontrasten gleichbelichteter Bilder derselben Spannungsreihe ist einzig und allein der streustrahlenaussendenden Backe zuzuschreiben. Eine Erhöhung in der Belichtungszeit (½ Sekunde) führt keineswegs zu einem besseren Ergebnis. Im Gegenteil, das 2½ Sekunden exponierte Negativ weist eine noch größere Verschleierung der einzelnen

Partien auf, als das Röntgenbild, welches nur 2 Sekunden belichtet wurde. Erst bei einer Exposition von 3 Sekunden erhalten wir das beste Bild dieser Serie. Wir sehen also, daß man bei den 38 Kilovolt-Aufnahmen beider Reihen durch eine Belichtungsdifferenz von 1 Sekunde optimale Bilder erzielt. Bei einem Vergleich zwischen den besten Negativen beider Serien muß man allerdings die Feststellung machen, daß das ohne Backe geröntge Bild eine viel feinere Strukturzeichnung aufweist als das andere (mit Rindfleischschicht), wo die Streustrahlung der Backe hinzutritt und die dünnen Knochenpartien mit einem Schleier umgibt und dadurch ihre deutliche Abbildung auf der photographischen Platte beeinträchtigt oder gar verhindert. Eine weitere Steigerung der Expositionsdauer bringt keine Verbesserung der Kontraste. Man sieht also, daß sich bei der 38 Kilovolt-Spannungsreihe die Hartstrahlung und die damit verbundene Streustrahlung schon sehr unangenehm im Röntgenbild auswirken.

Die nächste Serie bringt Aufnahmen mit 48 Kilovolt Spannung und zeigt noch deutlicher die Trübung des Bildes durch Streustrahlung, denn je härter die zur Aufnahme verwendete Strahlung ist, destomehr Streu- oder Sekundärstrahlung geht von dem aufgenommenen Objekt aus, und desto größer ist die Verschleierung des Negatives. Bei 48 Kilovolt-Spannung ohne Rindfleischschicht erreicht man schon bei ½ Sekunde Expositionszeit ein ganz leidlich durchgezeichnetes Bild, das allerdings infolge Unterbelichtung noch etwas zu hell und in den Kontrasten zu schwach erscheint. Den optimalen Bildkontrast erreichen wir bei einer Belichtung von 1 Sekunde. Die bei dieser Serie in stärkerem Maße auftretende Hartstrahlung (48 Kilovolt entspricht der in diesem Strahlengemisch enthaltenen kürzesten Wellenlänge von 0.251 Ångström-Einheiten) wirkt sich, wie schon erwähnt, dadurch aus, daß feinere Strukturverhältnisse des Kieferknochens nicht mehr abgebildet werden. Bei dieser Reihe kann man diese Erscheinung besonders an einer Stelle im Vergleich zu Bildern, die mit geringerer Spannung hergestellt wurden, wahrnehmen; es handelt sich um die Wiedergabe des foramen mentale. Während bei den 18, 28 und auch noch bei den 38 Kilovolt-Aufnahmen das foramen scharf umrissen auf dem Röntgenbild zu erkennen war, so sieht man es bei dem mit 48 Kilovolt Spannung geröntgten Negativ nur undeutlich gezeichnet. Erhöht man die Belichtungszeit auf 3 Sekunden und mehr, so erscheint die Zunahme der Schwärzung des

Bildes schon so wesentlich, daß Einzelheiten der Zeichnung durch Überstrahlungen verloren gehen. Eine weitere Steigerung der Expositionszeit bringt naturgemäß eine Erhöhung des Schwärzungsgrades mit sich.

Dieselbe Aufnahme (1 Sekunde) mit Rindfleischschicht erreicht in gleicher Belichtungszeit nicht die Schärfe der Zeichnung, sondern erscheint matt, und die Struktur des Knochens durch den grauen Schleier getrübt. In gesteigertem Maße kann man bei dieser Serie die Beobachtung machen, daß bei den mit Rindfleischschicht geröntgten Negativen der Kontrast, der schon durch den Anteil an Hartstrahlung sehr herabgesetzt ist, durch den hinzukommenden Streustrahlenschleier der Schicht noch mehr vermindert wird. Der graue Schleier tritt hier noch mehr in Erscheinung als auf den ohne Wangenschicht geröntgten Bildern. Das foramen mentale ist in seinen Konturen noch unschärfer als auf den Aufnahmen mit 38 Kilovolt Spannung. Die Gegend um den zweiten und dritten Molaren ist in dieser Reihe, wenn man von der Trübung des Bildes durch Verschleierung absieht, vermöge der starken Durchdringungsfähigkeit der Hartstrahlen leidlich abgebildet. Belichtet man 1½ Sekunden, so tritt die grobe Knochenzeichnung deutlicher hervor, während bei längerer Exposition (2 Sekunden und mehr) die feinen Spongiosabälkchen verschwinden, die bei einer Belichtung von 1½ Sekunden noch klar erkennbar waren.

Die nächste Serie bringt Bilder, die mit einer Spannung von 52 Kilovolt geröntgt wurden. Ich habe bei dieser Spannungsreihe die Röntgenaufnahmen mit einer Belichtung von 0,2 Sekunden angefangen und trotz dieser kurzfristigen Exposition eine schwache aber immerhin schon erkennbare Knochenzeichnung im Röntgenbilde erhalten. Daraus geht hervor, daß Hartstrahlung gegenüber dem aufgenommenen Objekt sehr durchdringend ist und daher auch mehr Energie auf die photographische Platte gelangen läßt als die weiche Strahlung. Schon Belichtungsunterschiede von $^1/_{10}$ Sekunde sind in der Bildzeichnung festzustellen. Das beste Bild dieser Reihe habe ich in der kurzen Expositionszeit von 0,7 Sekunden erhalten. Wie zu erwarten, macht sich bei der 0,7 Sekunden belichteten Aufnahme der mangelnde Kontrast, der durch die allgemeine Verschleierung des Bildes hervorgerufen wird, ebenfalls nachteilig bemerkbar. Trotz der geringen Erhöhung der Spannung (4 Kilovolt) ist der Unterschied zwischen den

optimalen Bildern der beiden Spannungsreihen (48 und 52 Kilovolt) deutlich sichtbar, besonders in der Gegend um den Sechsjahrmolaren, wo zahlreiche Knochenbälkchen der Hartstrahlung zum Opfer gefallen sind, die im 48 Kilovolt-Bild noch zu erkennen waren. Das foramen mentale ist auch hier unscharf in seinen Grenzen und hebt sich nicht mehr so deutlich von seiner Umgebung ab wie bei den Weichstrahlaufnahmen.

Noch undeutlicher gezeichnet ist das gleichbelichtete Negativ dieser Serie mit Rindfleischschicht. Der sich durch die Schicht vergrößernde Streustrahlenschleier verdeckt noch mehr Einzelheiten des Bildes. Das foramen mentale erscheint viel flauer in der Zeichnung als auf dem Vergleichsbild. Überhaupt kann man die Beobachtung machen, daß bei allen ohne Backe geröntgten Negativen die Feinheiten der Knochenstruktur in ihren Konturen der angewandten Hartstrahlung entsprechend erhalten sind, während die mit Rindfleischschicht geröntgten Bilder stets an diesen Stellen verwaschen erscheinen. Erst bei einer 1 Sekunden langen Exposition habe ich die für diese Serie (mit Wangenschicht) optimale Aufnahme erzielt und bei weiterer Vergrößerung der Belichtungsdauer auf 1,1 und 1,2 Sekunden festgestellt, daß das Negativ keine Verbesserung in den Kontrasten erfährt.

Noch stärker kommt der Einfluß der Streustrahlen bei der letzten Aufnahmereihe zur Geltung; sie umfaßt die Aufnahmen, welche mit einer Spannung von 55 Kilovolt erhalten wurden. Wenn auch in diesem Spannungsgebiet die Absorption an Größe immer noch die Streuung überwiegt, so haben wir es aber schon mit einer Strahlung zu tun, die sehr viel Hartstrahlung (annähernd die Hälfte) enthält. Diese Aufnahmeserie habe ich mit einer Exposition von 0,2 Sekunden eröffnet. Die mit 0,2 Sekunden belichtete Aufnahme ist naturgemäß schon bedeutend kräftiger in der Zeichnung als das gleich belichtete 52 Kilovolt-Bild. Eine kürzere Belichtung als 0,2 Sekunden habe ich trotz mehrfachen Versuches mit der Stoppuhr nicht durchführen können; eine solch kurze Belichtung käme auch praktisch nicht in Frage. In der kurzen Expositionszeit von 0,5 Sekunden wird für diese Reihe die optimale Bildqualität erreicht. Ein Vergleich zwischen dem besten Negativ der letzten Serie (ohne Wangenschicht) und dem dieser Reihe zeigt uns, wieviel die Spannungserhöhung von 3 Kilovolt bei einem Röntgenbild ausmacht. Betrachtet

man genau die Gegend unterhalb des ersten und zweiten Molaren zwischen zwei einander parallel laufenden gut sichtbaren Spongiosabälkchen, so muß man die Feststellung machen, daß eine ganze Anzahl feiner Bälkchen, die im Röntgenbild (Spannung 52 Kilovolt) klar erkennbar waren, bei der 55 Kilovolt-Aufnahme verschwunden ist. Das dreieckige Schattenbild von Knochenspangen unter dem Sechsjahrmolaren dagegen ist in beiden Röntgenbildern gleich in der Zeichnung, während die Abbildung des foramen mentale bei weitem flauer ist als auf der Vergleichsaufnahme. Eine Erhöhung der Expositionsdauer auf 2 Sekunden zeigt eine in allen Teilen schon recht bedeutende Schwärzung.

Röntgt man den Kiefer mit Rindfleischschicht bei einer Spannung von 55 Kilovolt, so erzielt man bei der gleichfristigen Belichtung von 0,5 Sekunden eine Aufnahme, die in der Zeichnung dem Negativ ohne Rindfleischschicht fast gleichkommt. Durch eine Verlängerung der Belichtung um $^1/_{10}$ Sekunde erreicht man eine geringe Kontrastverbesserung, die man jedoch nur bei ganz genauer Betrachtung festzustellen imstande ist (besonders in der Gegend rechts vom foramen mentale).

Alle diese Aufnahmen sind angefertigt worden mit dem Zweck, für jede Kilovolt-Reihe die besten Ergebnisse festzustellen. Zur Beurteilung der optimalen Kontraste im Röntgenbild kommen nur Aufnahmen der zweiten Reihe in Frage (mit Rindfleischschicht), da sie den natürlichen Verhältnissen entsprechen.

Aufnahmen mit 18 Kilovolt Spannung scheiden von vornherein wegen der langen Exposition aus; außerdem kommt die Anwendung einer solchen Strahlung deshalb nicht in Frage, weil eine so lange Belichtungszeit vermöge der starken Absorption der Weichstrahlung ganz erhebliche Schädigungen des Objektes durch Verbrennungen der Weichteile zur Folge haben könnte. Die Notwendigkeit der Abkürzung der Belichtungszeit und die Schonung der der Strahlung ausgesetzten Weichteile bringt es mit sich, daß wir etwas penetrantere Röntgenstrahlung trotz geringeren Bildkontrastes verwenden. Daher sind für die Röntgendiagnostik in der Zahnheilkunde die 28 und 38 Kilovolt-Bilder von größerer Bedeutung. Wenn auch die Güte des Negatives (28 Kilovolt) nicht an den Kontrastreichtum der besten 18 Kilovolt-Aufnahme heranreicht, so ist sie

doch für uns praktisch von größerem Wert, da ja eine solch kurze Einwirkung von weichen Strahlen (bei 10 Milliampère 8½ Sekunden) ohne Schädigung durchaus vertragen werden kann. Vergleiche zwischen beiden Aufnahmen (28 und 38 Kilovolt) in optimalen Expositionszeiten zeigen deutlich den größeren Kontrast und die ungleich bessere Durchzeichnung eines mit 28 Kilovolt hergestellten Bildes gegenüber der mit 38 Kilovolt gemachten Aufnahme, deren feinste Kontraste zum Teil durch die Hartstrahlung, zum Teil durch den damit verbundenen Streustrahlenschleier verdeckt sind. Die Kürze der Exposition einer 38 Kilovolt-Aufnahme kann diesen Nachteil nicht wettmachen. Bei weiterer Steigerung der Spannung verdichtet sich der Streustrahlenschleier immer mehr, und die feinen Knochenbälkchen zeichnen sich auf dem Bild bei zunehmender Härte der Strahlung nicht mehr ab; deshalb scheiden solche Negative für die diagnostische Auswertung von Röntgenbildern von Kiefer und Zähnen aus.

Auf Grund dieser Aufnahmen kommt man zu dem Ergebnis, daß ein optimaler Kontrast im Röntgenbild von Kiefer und Zähnen bei ca. 30 Kilovolt Spannung (entspricht der in dem Strahlengemisch enthaltenen kürzesten Wellenlänge von 0.412 Angström-Einheiten) und 10 Milliampère Röhrenbelastung in einer Expositionszeit von 8½ Sekunden erreicht wird.

Die Ansicht Meyers, daß für intraorale Aufnahmen zur Erzielung eines diagnostisch verwertbaren Röntgenbildes eine Spannung von ca. 30 Kilovolt erforderlich ist, und daß die oft angewandte härtere Strahlung von mehr als 30 Kilovolt infolge der größeren Penetrationskraft der Strahlen und infolge der Streustrahleneinwirkung keine kontrastreichen Bilder liefert, finden wir hiermit bestätigt.

Zum Schluß meiner Arbeit erfülle ich die angenehme Pflicht, Herrn Privatdozent Dr. Meyer für die Zuweisung des Themas und gütige Übernahme des Referates meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Literatur-Verzeichnis

1. Albers-Schönberg: Die Röntgentechnik.
2. Balters: Leitfaden der zahnärztlichen Röntgenkunde.
3. Bronkhorst: Kontrast und Schärfe im Röntgenbild.
4. Bucky: Die Röntgenstrahlen und ihre Anwendung.
5. Eggert: Einführung in die Röntgenphotographie.
6. Cermak: Die Röntgenstrahlen.
7. Fürstenau, Immelmann u. Schütze: Leitfaden des Röntgenverfahrens.
8. Glasscheib: Die Röntgentechnik.
9. Großmann: Physikalische und technische Grundlagen der Röntgentherapie.
10. Meyer (Port-Euler): Lehrbuch der Zahnheilkunde.
11. Praeger: Die Bedeutung der Aufnahme- und Entwicklungstechnik für das zahnärztliche Röntgenbild.
12. Praeger: Zahnärztliche Operationslehre und Röntgendiagnostik.
13. Rosenthal: Praktische Röntgenphysik und Röntgentechnik.
14. Walter: Die physikalischen Grundlagen der medizinischen Röntgentechnik.
15. Zeitschriften: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen 1917—28. — Zeitschrift für Röntgenologie 1920—28. — Zeitschrift für die gesamte Radiologie 1920—28.

Lebenslauf

Ich, Verfasser dieser Arbeit, bin am 31. 3. 1906 als Sohn des Eisenbahn-Oberinspektors Moritz Ricken und seiner Ehefrau Meta, geb. Kallinich, in Hirschberg-Cunnersdorf im Riesengebirge geboren. Nach Besuch des Hirschberger Gymnasiums bis zur Obersekunda erlangte ich Ostern 1925 am Johannes-Gymnasium zu Breslau das Reifezeugnis. Nach 7semestrigem Studium an dem Zahnärztlichen Universitäts-Institut zu Breslau habe ich Herbst 1928 die Approbation als Zahnarzt erhalten. Seit dieser Zeit arbeite ich an meiner Dissertation.

Ich bin preußischer Staatsangehöriger.

Hans Ricken.